

С. Л. Демаков, Я. А. Семкина*, С. И. Степанов, Е. Н. Попова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**Iana.semkina@urfu.ru*,

ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИОДОВ ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ МАРТЕНСИТА В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ VT23

Материалом исследования служил титановый сплав VT23. Образцы, закаленные от различных температур диапазона $T_{кр}$ $T_{пп}$, нагревались «*in situ*» в рентгеновском дифрактометре. Определены характеристики анизотропии термического расширения решетки орторомбического мартенсита. Установлено аномальное поведение периода «*b*», который показал отрицательные значения коэффициента термического расширения.

Ключевые слова: титановые сплавы, орторомбический мартенсит, коэффициент термического расширения.

S. L. Demakov, Ya. A. Semkina, S. I. Stepanov, E. N. Popova

CHANGING OF THE ORTHORHOMBIC MARTENSITE LATTICE PARAMETER IN TITANIUM ALLOY VT23

The material of the studying was VT23 titanium alloy. Samples were quenched from a different temperatures between critical and polymorphic transformation temperatures and «*in situ*» heated in X-ray diffractometer. The characteristics of the anisotropy of orthorhombic martensite were obtained. Abnormal behavior of "b" period which showed a negative value of the coefficient of thermal expansion was found.

Keywords: titanium alloys, orthorhombic martensite, coefficient of thermal expansion.

Материалом исследования служили листы из титанового сплава VT23 толщиной 2 мм. Исследуемые образцы нагревали до температур 800, 820, 840, 860, 900 °С, затем закаливали в воду. Для оценки температурной зависимости изменения периодов решетки мартенсита образцы, закаленные с различных температур, помещались в термокамеру рентгеновской установки и подвергались двукратному нагреву. Первый нагрев с шагом 20 °С от 30 до 290 °С, и повторный нагрев до 230 °С с шагом 40 °С. Необходимость второго нагрева объяснялась проверкой стабильности зафиксированных эффектов.

В микроструктуре образцов сплава VT23, закаленных с различных температур, по мере увеличения температуры наблюдается уменьшение

объемной доли α -фазы. Начиная с температур закалки 820 °С в структуре присутствуют мартенситные иглы.

С помощью рентгеновского фазового анализа был определен фазовый состав образцов. Участки дифрактограмм приведены на рис. 1. Положение линии α -фазы (110) мало изменяется в диапазоне температур закалок 820–860 °С. При $T_z = 900$ °С, выше T_{III} , эта линия естественно отсутствует. Период «а» α -фазы практически не зависит от температуры закалки. Иначе ведет себя линия β -фазы, она смещается в сторону меньших углов, ее период решетки при увеличении температуры закалки увеличивается из-за изменения легирования, когда высокотемпературная β -фаза обедняется по β -стабилизаторам, имеющим меньший атомный размер, чем атомы титана. Наблюдаемая β -фаза является остаточной – непревращенной в ходе закалки. Положение линий α'' -мартенсита изменяется разнонаправленно. Линия (200), связанная с периодом «а», перемещается в сторону больших углов при росте температуры закалки. Линии (130) и (022) смещаются в сторону меньших углов. Можно утверждать, что решетка α'' -мартенсита ведет себя анизотропно. Данные по объемной доле α -фазы, фазовому составу и периоду β -фазы закаленных образцов сведены в табл. 1 и рис. 2.

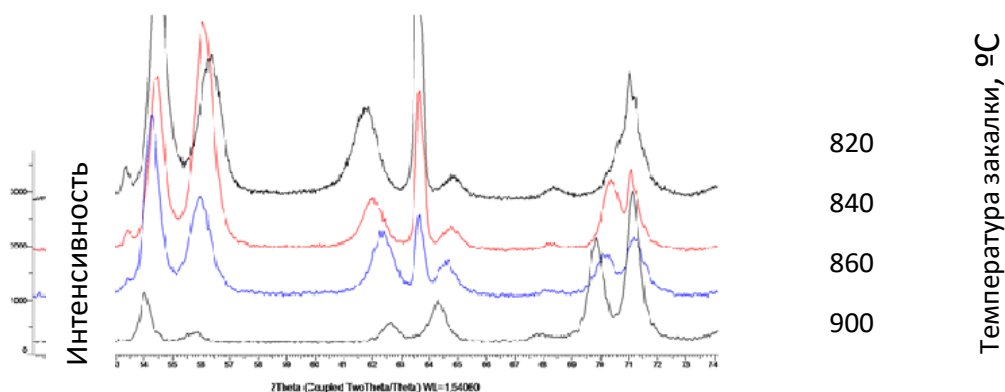


Рис. 1. Участки дифрактограмм закаленных образцов сплава BT23

Таблица 1

Фазовый состав и объемная доля первичной α -фазы закаленных образцов

Температура закалки, °С	Фазовый состав	Объемная доля α -фазы, %
800	$\alpha + \beta + (\alpha'')$	32
820	$\alpha + \alpha'' + \beta$	22
840	$\alpha + \alpha'' + (\beta)$	16
860	$\alpha + \alpha'' + (\beta)$	7
900	α''	0

Исходя из представленных значений, критическая температура сплава лежит около 800 °С.

Расчет периодов решетки орторомбического мартенсита производился по линиям (200), (130), (022).

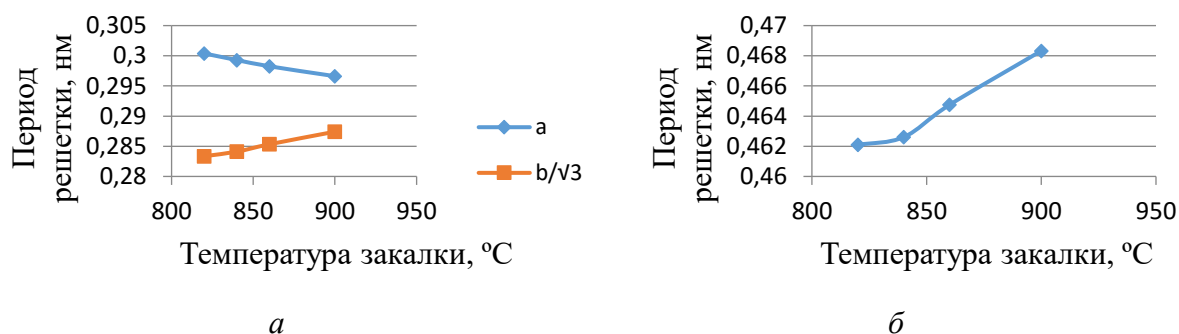


Рис. 2. Температурная зависимость периодов решетки мартенсита: a – a и $b/\sqrt{3}$; b – b

Анализ зависимостей поведения периодов решетки орторомбического мартенсита (рис. 3, 4) показал, что периоды « a » и « c » закономерно увеличиваются, а период « b » уменьшается в ходе нагрева. В первом приближении ход кривых можно считать линейным, и угол наклона для различных температур закалок отличается – при низких температурах закалки, когда мартенсит имел наибольшую ромбичность, угол наклона показывает максимальное значение, и наоборот, для высоких температур закалки (мартенсит с наименьшей ромбичностью, угол наклона наименьший). Увеличение периода « a », с соответствующим уменьшением периода « b », приближает орторомбическую решетку к ОЦК-решетке. В случае, когда закалкой был зафиксирован мартенсит с максимальной ромбичностью (800 °C), наблюдается прохождение обратного мартенситного превращения. При температуре закалки 800 °C обратное превращение происходит лишь частично, для других температур закалки обратного превращения не зафиксировано.

Эти же зависимости можно представить в виде совмещенных графиков относительных изменений периодов для отдельных температур закалок (рис. 4), где на рисунках a , b , $г$, e , $з$ приведены зависимости для нагрева, а на рисунках $в$, $д$, $ж$, $и$ – для охлаждения. В расчете относительного изменения периодов для охлаждения в качестве исходных принимались значения периодов перед нагревом.

Графики, построенные для второго нагрева/охлаждения (рис. 4), не показали существенного различия в поведении периодов решетки. Нагрев сплава приводит к смещению точки относительных параметров в сторону ОЦК-решетки, охлаждение – наоборот, в сторону ГПУ решетки. Во время охлаждения поведение линий строго обратное.

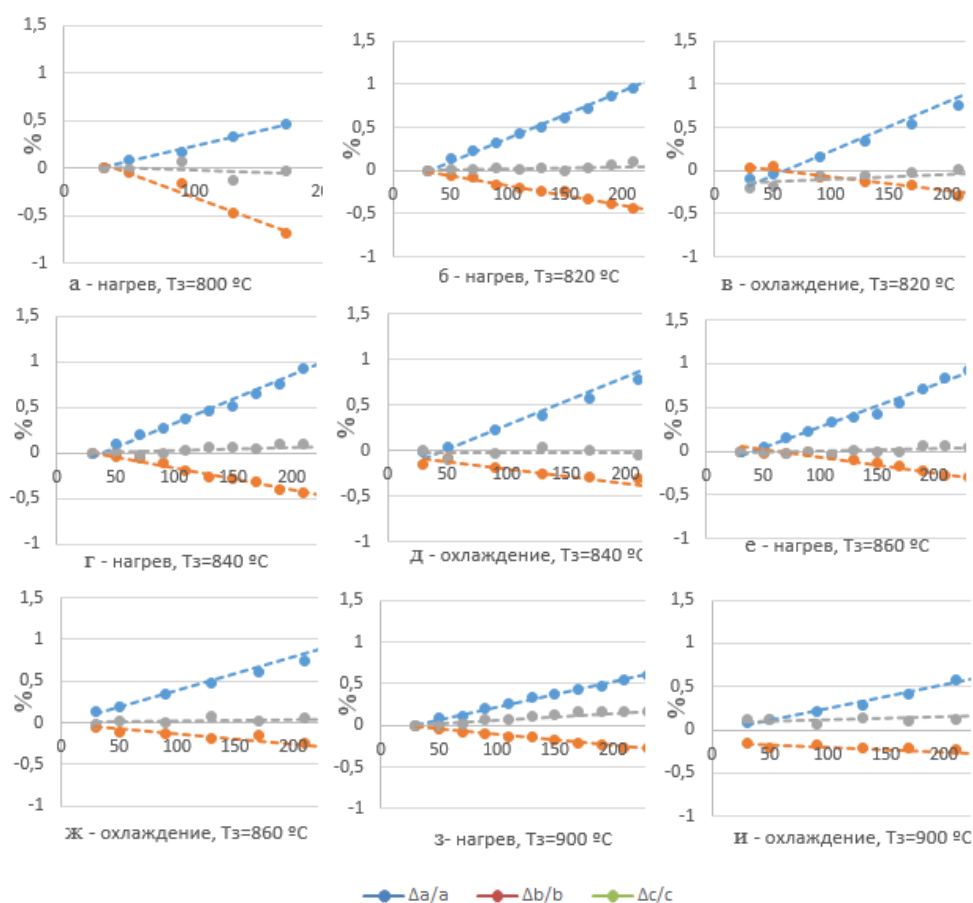


Рис. 3. Температурная зависимость относительного изменения периодов решетки орторомбического мартенсита при первом нагреве и охлаждении:
 $a - 800$; $б, в - 820$; $г, д - 840$; $е, ж - 860$; $з, и - 900$ °C

Таблица 2

ТКЛР вдоль осей орторомбической решетки мартенсита закаленного сплава ВТ23

Варианты			Тз, °C								
			800	820		840		860		900	
			нагрев	нагрев	охл.	нагрев	охл.	нагрев	охл.	нагрев	охл.
ТКЛР, α 106, К-1 вдоль осей орторомбической решетки мартенсита	1-й нагрев от 30 до 290	a	36	57	65	57	61	48	46	30	30
		b	−46	−23	−19	−23	−15	−15	−13	−13	−8
		c	0	0	0	0	0	4	4	4	0
	2-ой нагрев от 30 до 230	a		50	55	37	37	35	35	25	25
		b		−15	−20	−12	−15	−15	−25	−10	0
		c		0	5	0	5	2	15	2	2

Проведение повторного нагрева не выявило каких-либо изменений в ходе линий, т. е. этот эффект изменения относительных параметров в ходе нагрева и охлаждения является устойчивым и обратимым.

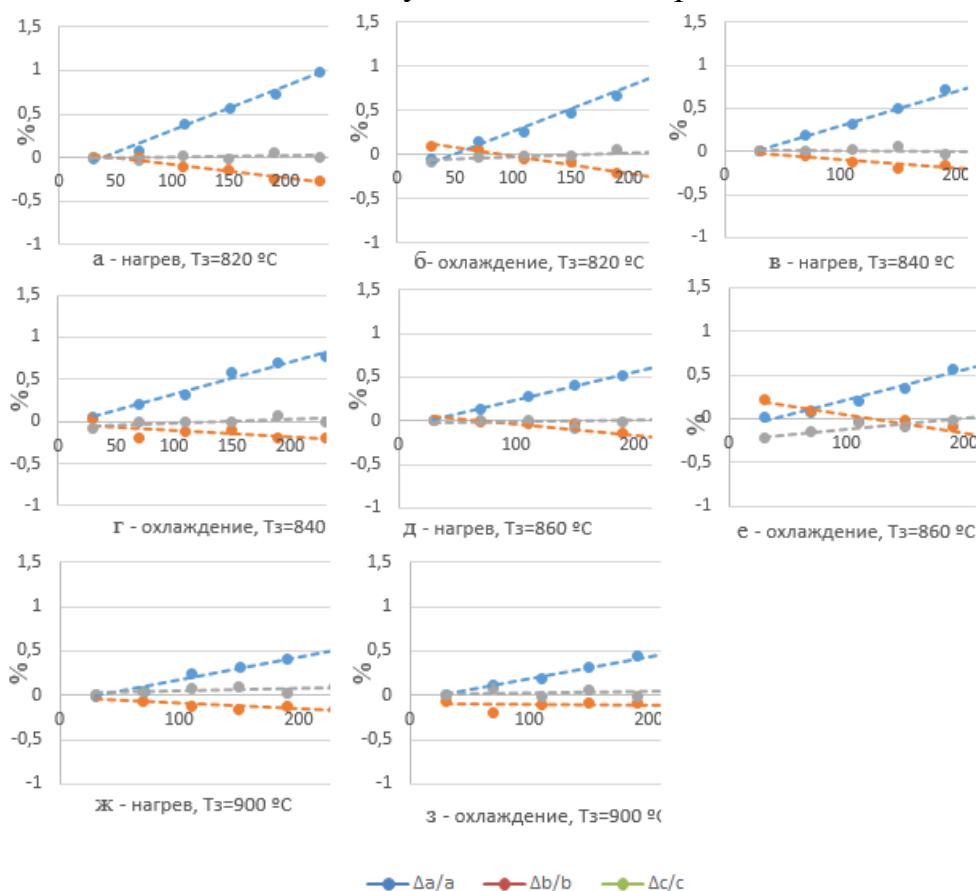


Рис. 4. Температурная зависимость относительного изменения периодов решетки орторомбического мартенсита при втором нагреве: а, б – 820; в, г – 840; д, е – 860; ж, з – 900 °С

В итоге исследования определены характеристики анизотропии термического расширения решетки титанового орторомбического мартенсита. Установлено anomальное поведение периода «b», который показал отрицательные значения коэффициента термического расширения. Наибольший эффект анизотропии термического расширения получен для температур закалки, расположенных вблизи критической температуры исследуемого сплава.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-08-08299 А и гранта Президента России № МК-6311.2016.8.